



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102969652 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 13

(21) 申请号 201210321579. 2

(22) 申请日 2012. 08. 31

(30) 优先权数据

13/223, 300 2011. 08. 31 US

(71) 申请人 安华高科技光纤 IP(新加坡)私人有限公司

地址 新加坡新加坡市

(72) 发明人 钟-伊·苏 拉斯特·玛毕夫

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理有限公司 11258

代理人 王安武

(51) Int. Cl.

H01S 5/183(2006. 01)

H01S 5/062(2006. 01)

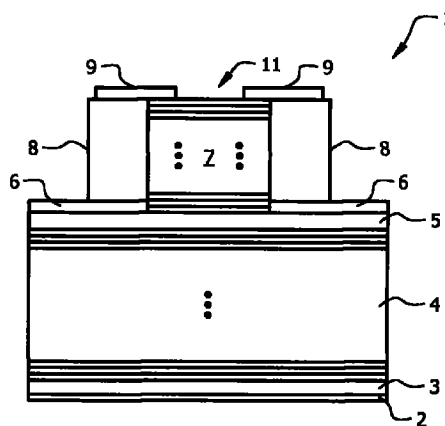
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 5 页

(54) 发明名称

三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 以及用于操作三端 VCSEL 的方法

(57) 摘要

本发明涉及三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 以及用于操作三端 VCSEL 的方法, 具体提供了一种三端 VCSEL, 该三端 VCSEL 具有减少的下降时间, 允许 VCSEL 以更高的速度工作。也提供了操作该三端 VCSEL 的方法。当处于逻辑 HIGH 状态时, 该 VCSEL 能够在不降低 VCSEL 的光输出的条件下以更高的速度工作。



1. 一种三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 其包括:
 - 衬底, 其具有至少顶表面和底表面;
 - 发射极接触, 其对应于第一端;
 - 第一多个 n 型层, 其布置在所述衬底的所述顶表面的上面, 其中所述第一多个 n 型层包括作为第一分布式布拉格反射器 (DBR) 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;
 - 至少一个 n 型腔限制层, 其布置在所述第一多个 n 型层的上面;
 - 包含一个或多个量子阱的多个活性层, 所述多个活性层布置在所述 n 型腔限制层的上面, 所述活性层包括发光材料并且是轻 p- 掺杂的或本征的;
 - 至少一个 p 型腔限制层, 其布置在所述多个活性层的上面;
 - 基极接触, 其布置在所述 p 型腔限制层上或所述 p 型腔限制层的一部分中, 使得所述基极接触与所述活性层中的至少一个活性层接触, 所述基极接触对应于 VCSEL 的第二端;
 - 第二多个 n 型层, 其布置在所述 p 型腔限制层的一部分的上面, 其中所述第二多个 n 型层包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对; 以及
 - 集电极接触, 其布置在所述第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层上或者所述第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层的一部分中, 使得所述集电极接触与所述第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层接触, 并且其中所述集电极接触对应于所述 VCSEL 的第三端。
2. 根据权利要求 1 所述的 VCSEL, 其中所述衬底是 n 型衬底。
3. 根据权利要求 1 所述的 VCSEL, 其中所述衬底是半绝缘衬底。
4. 根据权利要求 1 所述的 VCSEL, 其中所述第二多个 n 型层中的层的对包括第二 DBR。
5. 根据权利要求 4 所述的 VCSEL, 其中所述第二 DBR 的层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。
6. 根据权利要求 5 所述的 VCSEL, 还包括 n 型集电极接触层, 其布置在所述至少一个 p 型腔限制层和所述第二 DBR 之间, 并且其中所述集电极接触布置在所述 n 型集电极接触层上或所述 n 型集电极接触层中。
7. 根据权利要求 1 所述的 VCSEL, 其中所述第二多个 n 型层中的层的对包括介电反射镜。
8. 根据权利要求 7 所述的 VCSEL, 还包括:
 - n 型集电极接触层, 其布置在所述至少一个 p 型腔限制层和所述介电反射镜之间, 并且其中所述集电极接触布置在所述 n 型集电极接触层上或所述 n 型集电极接触层中。
9. 根据权利要求 1 所述的 VCSEL, 还包括连接体, 所述连接体将所述基极接触连接到所述集电极接触。
10. 一种三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 其包括:
 - 衬底, 其具有至少顶表面和底表面;
 - 发射极接触, 其对应于第一端;
 - 第一多个 n 型层, 其布置在所述衬底的所述顶表面的上面, 其中所述第一多个 n 型层包括作为第一分布式布拉格反射器 (DBR) 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;
 - 至少一个 n 型腔限制层, 其布置在所述第一多个 n 型层的上面;
 - 包含一个或多个量子阱的多个活性层, 所述多个活性层布置在所述 n 型腔限制层的上面, 所述活性层包括发光材料并且是轻 p- 掺杂的或本征的;

至少一个 p 型腔限制层,其布置在所述多个活性层的上面;

基极接触,其布置在所述 p 型腔限制层上或所述 p 型腔限制层的一部分中,使得所述基极接触与所述活性层中的至少一个活性层接触,所述基极接触对应于 VCSEL 的第二端;

第二多个 n 型层,其布置在所述 p 型腔限制层的一部分的上面,其中所述第二多个 n 型层包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;

n 型集电极接触层,其布置在所述第二多个 n 型层的上面;

集电极接触,其布置在所述 n 型集电极接触层上或所述 n 型集电极接触层的一部分中,所述集电极接触对应于所述 VCSEL 的第三端;以及

第三多个层,其布置在所述集电极接触层的上面,其中所述第三多个层包括作为 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对,所述第三多个层是非导电本征半导体层和介电材料层中的一者。

11. 根据权利要求 10 所述的 VCSEL,其中所述衬底是 n 型衬底。

12. 根据权利要求 10 所述的 VCSEL,其中所述衬底是半绝缘衬底。

13. 根据权利要求 10 所述的 VCSEL,其中所述第二多个 n 型层中的层的对包括第二 DBR。

14. 根据权利要求 13 所述的 VCSEL,其中所述第二 DBR 的层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。

15. 根据权利要求 10 所述的 VCSEL,其中所述多个第三层的层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。

16. 根据权利要求 10 所述的 VCSEL,还包括连接体,所述连接体将所述基极接触连接到所述集电极接触。

17. 一种三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL),其包括:

衬底,其具有至少顶表面和底表面;

发射极接触,其对应于第一端;

第一多个 p 型层,其布置在所述衬底的所述顶表面的上面,其中所述第一多个 p 型层包括作为第一分布式布拉格反射器 (DBR) 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;

至少一个 p 型腔限制层,其布置在所述第一多个 p 型层的上面;

包含一个或多个量子阱的多个活性层,所述多个活性层布置在所述 p 型腔限制层的上面,所述活性层包括发光材料并且是轻 n- 掺杂的或本征的;

至少一个 n 型腔限制层,其布置在所述多个活性层的上面;

基极接触,其布置在所述 n 型腔 + 述活性层中的至少一个活性层接触,所述基极接触对应于 VCSEL 的第二端;

第二多个 p 型层,其布置在所述 n 型腔限制层的一部分的上面,其中所述第二多个 p 型层包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;以及集电极接触,其布置在所述第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层上或者所述第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层的一部分中,使得所述集电极接触与所述第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层接触,并且其中所述集电极接触对应于所述 VCSEL 的第三端。

18. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL,其中所述衬底是 p 型衬底。

19. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL,其中所述衬底是半绝缘衬底。

20. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL, 其中所述第二多个 p 型层中的层的对包括第二 DBR。

21. 根据权利要求 20 所述的 VCSEL, 其中所述第二 DBR 的层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。

22. 根据权利要求 20 所述的 VCSEL, 还包括 p 型集电极接触层, 其布置在所述至少一个 n 型腔限制层和所述第二 DBR 之间, 并且其中所述集电极接触布置在所述 p 型集电极接触层上或所述 p 型集电极接触层中。

23. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL, 其中所述第二多个 p 型层中的层的对包括介电反射镜。

24. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL, 还包括:

p 型集电极接触层, 其布置在所述至少一个 n 型腔限制层和所述介电反射镜之间, 并且其中所述集电极接触布置在所述 p 型集电极接触层上或所述 p 型集电极接触层中。

25. 根据权利要求 17 所述的 VCSEL, 还包括连接体, 所述连接体将所述基极接触连接到所述集电极接触。

26. 一种三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 其包括:

p 型衬底, 其具有至少顶表面和底表面;

发射极接触, 其对应于第一端;

第一多个 p 型层, 其布置在所述衬底的所述顶表面的上面, 其中所述第一多个 p 型层包括作为第一分布式布拉格反射器 (DBR) 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;

至少一个 p 型腔限制层, 其布置在所述第一多个 p 型层的上面;

包含一个或多个量子阱的多个活性层, 所述多个活性层布置在所述 p 型腔限制层的上面, 所述活性层包括发光材料并且是轻 n- 掺杂的或本征的;

至少一个 n 型腔限制层, 其布置在所述多个活性层的上面;

基极接触, 其布置在所述 n 型腔限制层上或所述 n 型腔限制层的一部分中, 使得所述基极接触与所述活性层中的至少一个活性层接触, 所述基极接触对应于 VCSEL 的第二端;

第二多个 p 型层, 其布置在所述 n 型腔限制层的一部分的上面, 其中所述第二多个 p 型层包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;

p 型集电极接触层, 其布置在所述第二多个 p 型层的上面;

集电极接触, 其布置在所述 p 型集电极接触层上或所述 p 型集电极接触层的一部分中, 所述集电极接触对应于所述 VCSEL 的第三端; 以及

第三多个层, 其布置在所述集电极接触层的上面, 其中所述第三多个层包括作为 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对, 所述第三多个层是非导电本征半导体层和介电材料层中的一者。

27. 根据权利要求 26 所述的 VCSEL, 其中所述第二多个 p 型层中的层的对包括第二 DBR。

28. 根据权利要求 27 所述的 VCSEL, 其中所述第二 DBR 的层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。

29. 根据权利要求 26 所述的 VCSEL, 其中所述第三多个层中具有高折射率的至少一些层包括量子阱。

30. 根据权利要求 26 所述的 VCSEL, 还包括连接体, 所述连接体将所述基极接触连接到所述集电极接触。

31. 一种用于操作三端 VCSEL 的方法, 所述方法包括以下步骤:

提供三端 VCSEL, 所述三端 VCSEL 具有发射极、基极、集电极、布置在所述发射极上的发射极接触、布置在所述基极上的基极接触以及布置在所述集电极上的集电极接触, 所述发射极接触对应于所述 VCSEL 的第一端, 所述基极接触对应于所述 VCSEL 的第二端, 并且所述集电极接触对应于所述 VCSEL 的第三端, 其中基极 - 发射极结在所述基极和所述发射极的相交区域处存在, 并且基极 - 集电极结在所述基极和所述集电极的相交区域处存在;

在所述基极接触和所述发射极接触之间施加电势以将所述基极 - 发射极结置于正向偏置状态, 其中将所述基极 - 发射极结置于所述正向偏置状态使得光信号以高于所述 VCSEL 的激光射阈水平的光强度水平从所述基极输出, 其中所述激光射阈水平在所述 VCSEL 的逻辑 HIGH 水平与逻辑 LOW 水平之间;

在所述基极接触和所述集电极接触之间施加电势以将所述基极 - 集电极结置于正向偏置状态, 其中将所述基极 - 集电极结置于所述正向偏置状态使得从所述基极输出的光输出信号向逻辑 HIGH 水平转变; 以及

在所述基极接触和所述集电极接触之间施加电势以将所述基极 - 集电极结置于反向偏置状态, 其中将所述基极 - 集电极结置于所述反向偏置状态使得从所述基极输出的所述光信号的强度水平随时间降低, 以使得所述光信号具有下降沿, 并且其中所述基极 - 集电极结在所述光信号的所述下降沿上维持在所述反向偏置状态中, 以增加从所述基极输出的所述光信号的所述强度水平从所述逻辑 HIGH 水平向所述逻辑 LOW 水平转变的速率。

三端垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 以及用于操作三端 VCSEL 的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及垂直腔面发射激光器 (VCSEL)。更具体地,本发明涉及具有减少的下降时间以使得 VCSEL 能够在不牺牲光输出的条件下以更高的速率工作的三端 VCSEL。

背景技术

[0002] VCSEL 广泛地用作光互连设备、存储区域网络和传感器的光源。VCSEL 的最常用的配置是两端 VCSEL,其中两端 VCSEL 包括导电的 n 型衬底、布置在衬底的顶表面上的 n 型分布式布拉格反射器 (DBR)、布置在 n 型 DBR 上面的本征层 (活性区域)、布置在本征层上面的 p 型 DBR、欧姆 n- 接触以及欧姆 p- 接触。欧姆 n- 接触和 p- 接触分别对应于 VCSEL 的第一端和第二端。当在端子之间施加电势时,来自与本征层相邻的 n 型层的电子以及来自与本征层相邻的 p 型层的空穴被注入到本征层的活性区域中,在活性区域中该电子和空穴复合以产生光子。空穴和电子在活性区域中复合以产生光子是已知为自发发射的现象。离开活性区域的光子,被 DBR 重复地反射回到活性区域中,这引起了在活性区域中电子和空穴的更多的再结合。这是已知为受激发射的现象。光子被 DBR 重复地反射回到活性区域中提供了导致产生激光的“抽运”动作。

[0003] 在上述两端 VCSEL 中,本征层夹在 n 型 DBR 和 p 型 DBR 之间的配置形成了 p-i-n 结,即二极管。在端子之间施加电势使结正向偏置,造成电子和空穴被注入到活性区域中。VCSEL 的调制速度受到在活性区域中电荷载流子 (电子和空穴) 和光子之间的相互作用的限制。

[0004] 三端 VCSEL 也是已知的,但它们比两端 VCSEL 不常见。在两端 VCSEL 中,p-i-n 结本质上是基极-发射极结。在三端 VCSEL 中,添加了集电极以给予 VCSEL 双极结型晶体管 (BJT) 配置,其使得基极夹在发射极和集电极之间。在这样的配置中,电势施加在分别连接到基极和集电极的第一和第二欧姆接触之间,使得结正向偏置,这引起电流注入并且最终导致产生激光。电调制信号也施加在这些欧姆接触之间以调制激光,即,使其打开和关闭。在某些情况下,电调制信号也施加在连接到集电极的第三欧姆接触和第一欧姆接触之间以帮助调制活性区域。

[0005] 与上述三端 VCSEL 配置相关联的问题之一是集电极的添加没有提高 VCSEL 的速度。VCSEL 的速度仍然受到在活性区域中载流子与光子之间的相互作用的限制。

[0006] 在美国申请 No. 7, 693, 195 中公开了三端 VCSEL 的另一个配置。在该配置中,电调制信号可以施加到集电极端并且从集电极端输出。光信号从基极区域输出。正向偏置的电调制信号施加到基极端和发射极端,同时恒定的反向偏置电信号相对于发射极端施加到集电极端。因此,发射极-集电极结持续地反向偏置,而基极-集电极结在高正向偏置状态与低正向偏置状态之间切换,以使得激光分别在输入信号的逻辑 HIGH 状态与逻辑 LOW 状态之间切换。施加到集电极-基极结的输入调制信号在集电极端上产生光输出以及放大的电信号。然而,与该设计相关联的问题之一是,为了在集电极端产生放大的输出电调制信号,基

极区域必须被设计成很薄,以使得来自发射极的电子的大多数能够通过基极区域并到达基极,导致较少的电子能够在基极区域中与空穴再结合以产生光。结果,在激光的逻辑 HIGH 状态下的光输出低于在通常的两端 VCSEL 中在逻辑 HIGH 状态下的光输出。

[0007] 因此,需要能够在不牺牲光输出的条件下、实现比已知的两端和三端 VCSEL 更高速度的三端 VCSEL。

发明内容

[0008] 本发明指向三端 VCSEL 以及用于操作三端 VCSEL 的方法。根据一个实施例,VCSEL 包括:n 型衬底;发射极接触,其布置在衬底的底表面上;第一多个 n 型层,其布置在衬底的顶表面的上面,并且具有作为第一 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;至少一个 n 型腔限制层,其布置在第一多个 n 型层的上面;包含一个或多个量子阱的多个活性层,多个活性层布置在 n 型腔限制层的上面;至少一个 p 型腔限制层,其布置在多个活性层的上面;基极接触,其布置在 p 型腔限制层上或 p 型腔限制层的一部分中,使得基极接触与活性层中的至少一个活性层接触;第二多个 n 型层,其布置在 p 型腔限制层的一部分的上面,并且包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;以及集电极接触,其布置在第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层上或者第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层的一部分中,使得集电极接触与第二多个 n 型层中的至少一个 n 型层接触。发射极、基极和集电极接触分别对应于 VCSEL 的第一端、第二端和第三端。

[0009] 根据另一个实施例,VCSEL 包括:n 型衬底;发射极接触,其布置在衬底的底表面上;第一多个 n 型层,其布置在衬底的顶表面的上面,并且具有作为第一 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;至少一个 n 型腔限制层,其布置在第一多个 n 型层的上面;包含一个或多个量子阱的多个活性层,多个活性层布置在 n 型腔限制层的上面;至少一个 p 型腔限制层,其布置在多个活性层的上面;基极接触,其布置在 p 型腔限制层上或 p 型腔限制层的一部分中,使得基极接触与活性层中的至少一个活性层接触;n 型集电极接触层,其布置在第二多个 n 型层的上面;集电极接触,其布置在 n 型集电极接触层上或所述 n 型集电极接触层的一部分中;以及第三多个非导电本征半导体层或介电材料层,其布置在集电极接触层的上面,并且包括作为 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对。发射极、基极和集电极接触分别对应于 VCSEL 的第一端、第二端和第三端。

[0010] 根据另一个实施例,VCSEL 包括:p 型衬底;发射极接触,其布置在衬底的底表面上;第一多个 p 型层,其布置在衬底的顶表面的上面,并且具有作为第一 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;至少一个 p 型腔限制层,其布置在第一多个 p 型层的上面;包含一个或多个量子阱的多个活性层,多个活性层布置在 p 型腔限制层的上面;至少一个 n 型腔限制层,其布置在多个活性层的上面;基极接触,其布置在 n 型腔限制层上或 n 型腔限制层的一部分中,使得基极接触与活性层中的至少一个活性层接触;第二多个 p 型层,其布置在 n 型腔限制层的一部分的上面,并且包括作为反射器工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;以及集电极接触,其布置在第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层上或者第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层的一部分中,使得集电极接触与第二多个 p 型层中的至少一个 p 型层接触。发射极、基极和集电极接触分别对应于 VCSEL 的第一端、第二端和第三端。

[0011] 根据另一个实施例,VCSEL 包括:p 型衬底;发射极接触,其布置在衬底的底表面

上;第一多个 p 型层,其布置在衬底的顶表面的上面,并且具有作为第一 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对;至少一个 p 型腔限制层,其布置在第一多个 p 型层的上面;包含一个或多个量子阱的多个活性层,多个活性层布置在 p 型腔限制层的上面;至少一个 n 型腔限制层,其布置在多个活性层的上面;基极接触,其布置在 n 型腔限制层上或 n 型腔限制层的一部分中,使得基极接触与活性层中的至少一个活性层接触;p 型集电极接触层,其布置在第二多个 p 型层的上面;集电极接触,其布置在 p 型集电极接触层上或 p 型集电极接触层的一部分中;以及第三多个非导电本征半导体层或介电材料层,其布置在集电极接触层的上面,并且包括作为 DBR 工作的交替的高折射率层和低折射率层的对。发射极、基极和集电极接触分别对应于 VCSEL 的第一端、第二端和第三端。

[0012] 所述方法包括以下步骤:提供三端 VCSEL,其具有发射极、基极、集电极、布置在发射极上的发射极接触、布置在基极上的基极接触以及布置在集电极上的集电极接触;在基极接触和发射极接触之间施加电势以将基极-发射极结置于正向偏置状态,使得从基极输出的光信号的强度水平增加到高于用于激光发射的激光射阈水平的水平;在基极接触和集电极接触之间施加电势以将基极-集电极结置于正向偏置状态,从而使得从基极输出的光信号向 VCSEL 的逻辑 HIGH 水平转变;以及在光信号的水平已经达到逻辑 HIGH 水平之后的同时,在基极接触和集电极接触之间施加电势以将基极-集电极结置于反向偏置状态,并且在光信号的下降沿上将基极-集电极结维持在反向偏置状态。

[0013] 将基极-集电极结置于反向偏置状态使得光信号从逻辑 HIGH 水平向逻辑 LOW 水平转变。在光信号的下降沿上将基极-集电极结维持在反向偏置状态提供了载流子从活性区域的场辅助去除,并且从而增大了光信号的强度水平从逻辑 HIGH 状态向逻辑 LOW 状态转变的速率。

附图说明

[0014] 图 1A 和 1B 分别图示了根据一个说明性实施例的三端 VCSEL 的侧视截面图和俯视平面图。

[0015] 图 2A 和 2B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL 的侧视截面图和俯视平面图。

[0016] 图 3A 和 3B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL 的侧视截面图和俯视平面图。

[0017] 图 4A 和 4B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL 的侧视截面图和俯视平面图。

[0018] 图 5 图示了表示操作根据说明性实施例的三端 VCSEL 的方法的流程图。

具体实施方式

[0019] 本发明指向具有减小的下降时间、从而允许 VCSEL 以更高的速度工作的三端 VCSEL。本发明也指向以减小 VCSEL 的下降时间从而增大 VCSEL 的工作速度的方式操作 VCSEL 的方法。此外,所述 VCSEL 和方法在不降低 VCSEL 的光输出的情况下提供了 VCSEL 的更高的工作速度。现在讲参考图 1A-4B 描述说明性或示例性的实施例,在图 1A-4B 中,相似的附图标记标识相似的特征、元件或组件。图 1A-4B 未按比例绘制并且仅意图表明本发明

的原理和概念。本领域的技术人员将明白可以基于图 1A-4B 的下面的描述来构造实施那些原理和概念的三端 VCSEL 的方式。

[0020] 图 1A 和 1B 分别图示了根据一个说明性实施例的三端 VCSEL1 的侧视截面图和俯视平面图。VCSEL1 包括发射器接触 2、n 型衬底 3、布置在衬底 3 的顶表面上的 n 型 DBR4、布置在 DBR4 的上面的轻 p- 掺杂或未掺杂活性层 5、布置在活性层 5 的上面的欧姆基极接触 6、在活性层 5 的没有被欧姆基极接触 6 覆盖的区域中布置在活性层 5 的上面的 n 型 DBR7、布置在欧姆基极接触 6 并包围 DBR7 的侧部的绝缘层 8、以及欧姆集电极接触 9，欧姆集电极接触 9 布置在绝缘层 8 的顶表面的一部分的上面以及 DBR7 的顶表面的一部分的上面，使得孔 11 用于使得光从 VCSEL1 传递出来。绝缘层 8 包括诸如苯并环丁烯 (BCB, Benzocyclobutene) 或聚酰亚胺 (polyimide) 等低介电常数材料。

[0021] 图 1B 的俯视平面图分别示出了欧姆基极和集电极垫片 13 和 14，以及将基极和集电极垫片 12 和 13 分别连接到基极和集电极接触 6 和 9 的连接体 6a 和 9a。集电极接触垫片 13 布置在介电材料层 14 (图 1A 中未示出) 的上面。发射极接触垫片在图 1B 的俯视平面图中不可见。

[0022] 虽然为了清晰起见在图 1A 和 1B 中未示出，但未掺杂或 n- 掺杂的腔限制层布置在 DBR4 的顶层与活性层 5 的底层之间，并且 p+ 掺杂的腔限制层布置在活性层 5 的顶层与 DBR7 的底层之间。此外，一对或多对交替的低和高折射率层 (为了清晰起见而未示出) 通常布置在 p+ 掺杂的腔限制层与 DBR7 之间。厚度在约 0.75 波长到 1.25 波长之间的 n 型氧化层 (为了清晰起见而未示出) 可以布置在一对或多对交替的低和高折射率层与 DBR7 之间。

[0023] 本发明对于用于 VCSEL1 的各个层的化学元素或化合物没有限制。已知的半导体工艺可用于制造 VCSEL1，但本发明对于用于制造 VCSEL1 的工艺没有限制。可用于制造 VCSEL1 的材料示例如下：衬底 3 由 n- 掺杂砷化镓 (GaAs) 制成；DBR4 由具有不同百分比的 Al 或 Ga 以使其在高和低折射率之间交替的若干层 (通常是 50 至 60 层) n- 掺杂砷化铝镓 (AlGaAs) 制成；活性层 5，其对应于 VCSEL1 的活性区域，包含未掺杂或具有非常低的 p 掺杂的 GaAs 量子阱 (通常是三对到五对)；DBR7 由具有不同百分比的 Al 或 Ga 以使其在高和低折射率之间交替的若干层 (通常是 16 到 30 对) n- 掺杂 AlGaAs 制成；以及发射极、基极和集电极欧姆接触 2、6 和 9 以及接触垫片 12 和 13 通常由金属材料制成。

[0024] DBR7 的层由高和低折射率的交替层制成。根据实施例，高折射率材料层包括量子阱，其允许集电极区域的电吸收 (EA) 调制。当基极 - 集电极结正向偏置时 (即，对结构的 n-p-n 实施例中的接触 6 和 9 施加零电压或正电压)，量子阱是不吸收的 (即，反射)，但当基极 - 集电极结是反向偏置时 (即，对结构的 n-p-n 实施例中的接触 6 和 9 施加负电压)，量子阱是吸收的。结果，当基极 - 集电极结反向偏置时，由于在 DBR7 中由量子限制斯塔克效应 (QCSE) 引发的光吸收的存在，将发生光子循环减少。除了上述由载流子的场辅助去除造成的减少以外，光子循环的减少引起光输出的下降时间 (fall time) 进一步地减少。换句话说，VCSEL1 当被置于逻辑 LOW 状态时更快地关闭，这意味着 VCSEL1 能够以更高的速度工作。

[0025] 图 2A 和 2B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL20 的侧视截面图和俯视平面图。VCSEL20 包括发射极欧姆接触 22、n 型衬底 23、布置在衬底 23 的顶表面上的 n 型 DBR24、布置在 DBR24 的上面的轻 p- 掺杂或未掺杂活性层 25、布置在活性层 25 的一部

分的上面的欧姆基极接触 26、在活性层 25 的没有被欧姆基极接触 26 覆盖的顶部区域中布置在活性层 25 的上面的 n 型 DBR27、布置在 DBR27 的上面的 n 型透明半导体集电极接触层 28、布置在欧姆基极接触 26 上并包围 DBR27 和集电极接触层 28 的侧部的低介电常数（例如，BCB 或聚酰亚胺）绝缘层 29、布置在绝缘层 29 的一部分和集电极接触层 28 的上面的欧姆集电极接触 31、以及布置在集电极接触层 28 的一部分的上面的未掺杂半导体 DBR32。

[0026] 图 2B 的俯视平面图示出了欧姆基极和集电极接触垫片 33 和 34，以及将基极和集电极接触垫片 33 和 34 分别连接到基极和集电极接触 26 和 31 的连接体 26a 和 31a。集电极接触垫片 34 布置在介电材料层 35 的上面，介电材料层 35 在图 2A 中未示出，但其可以是介电材料 29 的延伸或者是分开沉积的介电材料。发射极接触垫片在图 2B 的俯视平面图中不可见。

[0027] 虽然为了清晰起见在图 2A 和 2B 中未示出，但未掺杂或 n- 掺杂的腔限制层布置在 DBR24 的顶层与活性层 25 的底层之间，并且 p+ 掺杂的腔限制层布置在活性层 25 的顶层与 DBR27 的底层之间。此外，一对或多对交替的低和高折射率层（为了清晰起见而未示出）通常布置在 p+ 掺杂的腔限制层与 DBR27 之间。厚度在约 0.75 波长到 1.25 波长之间的 n 型氧化层（为了清晰起见而未示出）可以布置在一对或多对交替的低和高折射率层与 DBR27 之间。

[0028] 用于制造图 1A 和 1B 所示的 VCSEL1 的相同材料和工艺可用于制造图 2A 和 2B 所示的 VCSEL20。VCSEL1 和 VCSEL20 之间的主要区别在于集电极接触的位置不同。将集电极接触移动到图 2A 和 2B 所示的位置允许顶部 DBR32 为未掺杂的半导体材料，这减小光损耗。

[0029] 图 3A 和 3B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL40 的侧视截面图和俯视平面图。用于制造图 1A-2B 所示的 VCSEL1 和 VCSEL20 的相同材料和工艺可用于制造图 3A 和 3B 所示的 VCSEL40。VCSEL40 包括欧姆发射极接触 42、n 型衬底 43、布置在衬底 43 的顶表面上的 n 型 DBR44、布置在 DBR44 的上面的轻 p- 掺杂或未掺杂活性层 45、布置在活性层 45 的一部分的上面的欧姆基极接触 46、在没有被欧姆基极接触 46 覆盖的区域中布置在活性层 45 的上面的 n 型 DBR47、布置在 DBR47 的上面的 n+ 透明半导体集电极接触 48、布置在 n+ 透明集电极接触 48 的上面的本征半导体 DBR50、布置在 DBR50 上的 p 型层 49、布置在 p 型层 49 的上面的环状 p 接触 51、布置在欧姆基极接触 46 上并包围 DBR47、接触 48 和 DBR50 的侧部的低介电常数材料（例如，BCB 或聚酰亚胺）绝缘层 52、以及将欧姆基极接触 46 与环状 p 接触 51 连接的连接体 53。

[0030] 图 3B 的俯视平面图示出了欧姆基极和集电极接触垫片 54 和 55，以及将接触垫片 54 和 55 分别连接到接触 46 和 48 的连接体 54a 和 55a。图 3B 的俯视平面图还示出了将接触 46 与接触 51 连接的连接体 53。集电极接触垫片 55 布置在图 3A 中未示出的介电材料层 56 的上面。发射极接触垫片在图 3B 的俯视平面图中不可见。

[0031] 本征 DBR50 由交替的高和低折射率材料制成。高折射率材料层包括量子阱，其允许集电极区域的 EA 调制。当基极 - 集电极结正向偏置时（即，对连接到接触 46 和 48 的接触 51 施加零电压或正电压），量子阱是不吸收的（即，反射），但当基极 - 集电极结是反向偏置时（即，对接触 48 和 51 施加负电压，其中接触 51 连接到基极接触 46），量子阱是吸收的。结果，当基极 - 集电极结反向偏置时，由于在 DBR50 中的 QCSE 的存在，在基极区域中将发生光子循环减少。光子循环的减少引起光输出的下降时间的减少，这允许 VCSEL40 以

更高的速度工作。

[0032] 图 4A 和 4B 分别图示了根据另一个说明性实施例的三端 VCSEL60 的侧视截面图和俯视平面图。VCSEL60 包括发射极欧姆接触 62、n 型衬底 63、布置在衬底 63 的顶表面上的 n 型 DBR64、布置在 DBR64 的上面的轻 p- 掺杂或未掺杂活性层 65、布置在活性层 65 的一部分的上面的欧姆基极接触 66、在没有被欧姆基极接触 66 覆盖的区域中布置在活性层 65 的上面的交替的高和低折射率的多个 n- 掺杂或未掺杂层 67、布置在交替的高和低折射率层 67 的上面的 n 型透明半导体或透明导电氧化物接触 (TCO) 集电极接触层 68、布置在欧姆基极接触 66 包围层 67 和 68 的侧部的 BCB 绝缘层 69、布置在 BCB 绝缘层 69 和集电极接触层 68 的一部分的上面的欧姆集电极接触 71、以及多层交替的低和高折射率绝缘介电层 72, 其构成布置在集电极接触层 68 的一部分的上面的介电反射镜。

[0033] 图 4B 的俯视平面图示出了欧姆基极和集电极接触垫片 73 和 74, 以及将基极和集电极接触垫片 73 和 74 分别连接到基极和集电极接触 66 和 71 的连接体 66a 和 71a。集电极接触垫片 74 布置在图 4A 中未示出的介电材料层 75 的上面。发射极接触垫片在图 4B 的俯视平面图中不可见。

[0034] 虽然为了清晰起见在图 4A 和 4B 中未示出, 但未掺杂或 n- 掺杂的腔限制层布置在 DBR64 的顶层与活性层 65 的底层之间, 并且 p+ 掺杂的腔限制层布置在活性层 65 的顶层与层 67 的底层之间。层 67 包括一对或多对交替的高和低折射率层。根据一个说明性实施例, 层 67 是 n 型层。根据另一个说明性实施例, 层 67 是未掺杂的并且量子阱形成在具有高折射率的层 67 中。在这些层中包含量子阱在基极-集电极结反向偏置时、提供相对温和的 EA 调制, 这在 VCSEL 处于逻辑 LOW 状态时减小 VCSEL 的下降时间。此外, 在集电极区域上代替 DBR 而是用介电反射镜 72 具有缩短光子寿命的效果, 这也可以减小 VCSEL 的下降时间。

[0035] 可以使用用于制造图 1A-3B 所示的 VCSEL1、VCSEL20 和 VCSEL40 的相同材料和工艺来制造图 4A 和 4B 所示的 VCSEL60。介电反射镜 72 可以使用已知的工艺和材料来形成。

[0036] 各种调制方案可用于上述 VCSEL1、VCSEL20、VCSEL40 和 VCSEL60, 以在 VCSEL 处于逻辑 LOW 状态时、减小 VCSEL 的下降时间。现在将参考图活性层 5 描述调制方案中的一种。图活性层 5 图示了表示操作根据说明性实施例的三端 VCSEL 的方法的流程图。使基极-集电极结正向偏置, 以使得从基极输出的光信号的强度水平达到高于激光射阈的水平, 从而建立位于逻辑 HIGH 状态和逻辑 LOW 状态之间的工作点, 如框 101 所示。为了将 VCSEL 切换到逻辑 HIGH 状态并产生光信号的上升沿, 也使得基极-集电极结正向偏置, 如框 102 所示。当这些结正向偏置时, 来自发射极区域和集电极区域两者的电子被注入到基极区域中, 其中在基极区域中电子与空穴结合以产生最大的光输出 (即, 逻辑 HIGH)。

[0037] 为了将 VCSEL 切换到逻辑 LOW 状态, 使基极-集电极结反向偏置, 如框 103 所示, 这使得光信号的强度水平开始朝向逻辑 LOW 状态转变。在 VCSEL 的光输出的该下降沿上, 基极-集电极结保持反向偏置, 如框 104 所示。当基极-集电极结反向偏置时, 没有来自集电极区域的电子被诸如到基极区域中, 并且来自发射极区域的电子的大部分在不与空穴复合的情况下通过基极并进入集电极区域。发射极和基极区域中的掺杂水平被设计为允许反向偏置场穿过基极区域 (即, VCSEL 的活性层), 以帮助加速电子的去除并且从而使得光输出的下降沿加速。结果, 在较短的时间内将 VCSEL 从逻辑 HIGH 状态调制到逻辑 LOW 状态。

[0038] 除了如上所述在集电极端施加输入调制以外, 可用于本发明的调制方案的另一个

示例在这里被称为推拉式调制方案 (push-pull modulation scheme)。推拉式调制方案可用于例如图 3A 和 3B 所示的 VCSEL40。根据推拉式调制方案,施加到发射极接触 42 的电信号和施加到集电极接触 48 的电信号维持彼此异相 180° 。使用该方案从活性区域内部的载流子密度分离腔体内部的光子密度。包括在 DBR50 的高折射率层中的量子阱提供 输出耦合的 EA 调制,该输出耦合的 EA 调制允许实现更高的调制速度。

[0039] 将参考图 1A 和 1B 进一步描述该调制方案的使用。对于该示例,将假设 DBR7 的最上层是有高和低折射率材料的交替层构成的本征(未掺杂)层,并且高折射率材料的层包括量子阱,该量子阱允许集电极区域的 EA 调制。由于施加到集电极接触 9 的电信号使得集电极-基极结正向偏置,因此较多的电子被注入到基极区域(即,VCSEL1 的活性区域)中,这使得活性区域中的载流子密度增加,同时在 DBR7 中不会造成光衰减。同时施加到发射极接触 2 的 180° 异相信号使得发射极-基极结反向偏置并且使活性区域中的载流子减少。在集电极接触 9 和发射极接触 2 的适当规定的信号水平处,并且在 DBR7 中没有光衰减的情况下,正向偏置的集电极-基极结和反向偏置的发射极-基极结可以讲 VCSEL1 设定成产生期望的逻辑 HIGH 输出光水平。

[0040] 当集电极接触 9 上的调制信号转向相反的方向以使得集电极-基极结反向偏置,并且发射极接触 2 上的 180° 异相信号使得发射极-基极结正向偏置时,将存在较少的电子从集电极注入到基极,并且存在较多的电子从发射极注入到基极。载流子浓度并且因此光输出水平倾向于在该循环中也保持不变。然而,在该循环中,在如上所示集电极-基极结反向偏置的情况下,DBR7 的高折射率层中的量子阱现在是吸收的(与反射相反)。结果,在调制的这个阶段中实际上离开 VCSEL1 的光的强度水平,低于在集电极-基极结正向偏置期间的阶段的光的强度水平。集电极-基极结反向偏置并且发射极-基极结正向偏置的这个阶段因此产生了期望的逻辑 LOW 阶段。

[0041] 应该注意,在调制的这个阶段期间引入的电-光吸收不仅使向外传播的光减弱,而且使反射回活性区域的光减弱,净光输出调制大于由放置在 VCSEL 腔体外部的同样的电吸收调制器产生的净光输出调制。由于从逻辑 HIGH 到逻辑 LOW 的输出光调制在腔体内部的光子和载流子密度几乎相同的情况下产生,因此,在通常的 VCSEL 中,由弛豫振荡施加的带宽限制、由于光子密度没有响应于载流子密度的变化(反之亦然)而引起的振荡几乎消除。

[0042] 虽然 VCSEL1、20、40 和 60 已经描述为主要由 GaAs 相关材料制成,但其他的化合物可以用于 VCSEL。用于 VCSEL1、20、40 和 60 的化合物选择为具有期望的带隙能量,其使得能够产生期望的光发射波长。可用于 VCSEL1、20、40 和 60 其他适合的材料的示例包括但不限于,砷化铝镓 (AlGaAs)、磷化镓 (GaP)、磷化铟镓 (InGaP)、氮化镓 (GaN)、砷化铟镓 (InGaAs)、砷氮铟镓 (InGaNaNs)、磷化铟 (InP) 和磷化镓铟 (GaInP)。也应该注意,在图 1A、2A、3A 和 4A 中被指示为 n 型的层也可以替代地为 p 型,并且反之亦然。此外,代替使用 p 型或 n 型衬底,衬底也可以是半绝缘衬底。在使用半绝缘衬底的情况下,发射极接触没有布置在衬底的底表面上,而是在已经去除了外延生长层的部分的位置处、布置在衬底上方和活性区域下方的区域中。鉴于这里所提供的描述,本领域的技术人员将理解可以怎样制造结合半绝缘衬底的 VCSEL。

[0043] 应该注意,已经参考说明性实施例描述了本发明,并且本发明不限于这些实施例。

本领域的技术人员将理解可以对说明性实施例进行修改的方式,并且全部这样的修改在本发明的范围内。例如,虽然图 1A、2A、3A 和 4A 示出了层的特定组合,但 VCSEL1、20、40 和 60 可以包括比图 1A、2A、3A 和 4A 所示的层更多的层或更少的层。此外,层的位置可以与图中所示的位置不同。例如,DBR 可以布置在于图中所示的那些位置不同的位置处。如本领域的技术人员将理解的,可以对这里所述的实施例进行这些和其他修改,并且所有这样的修改也在本发明的范围内。

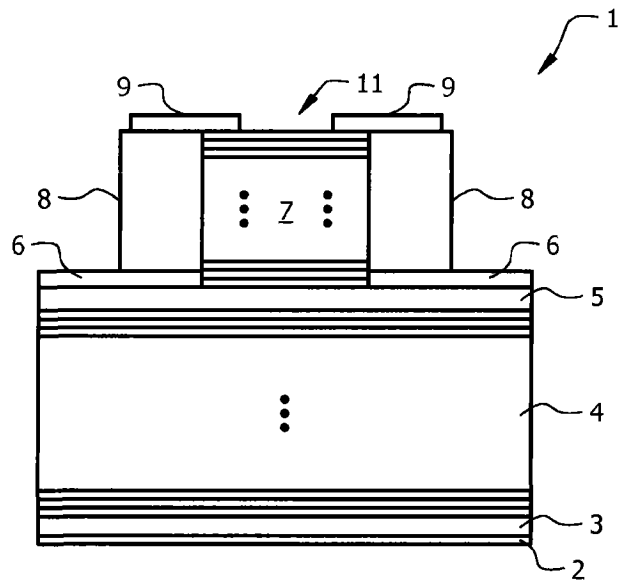


图 1A

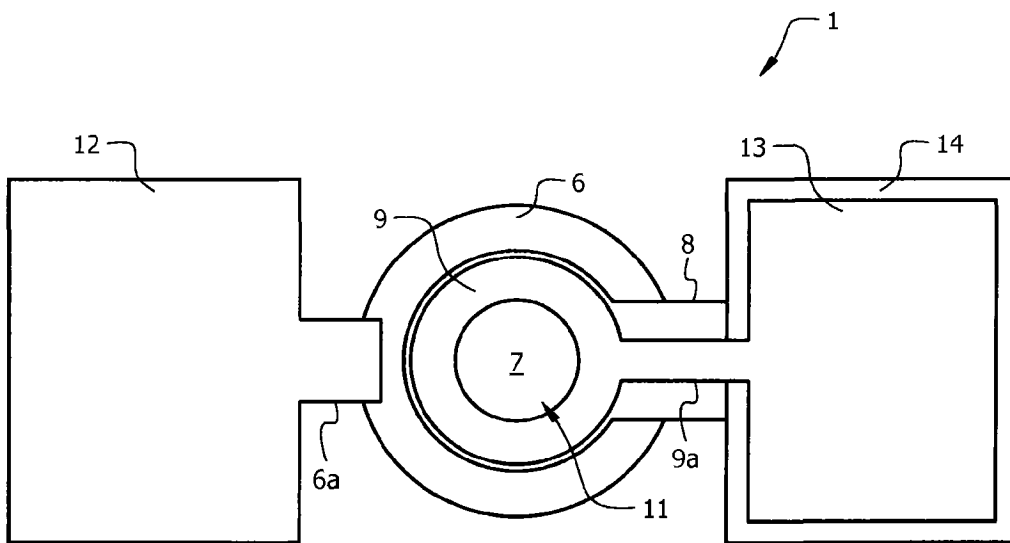


图 1B

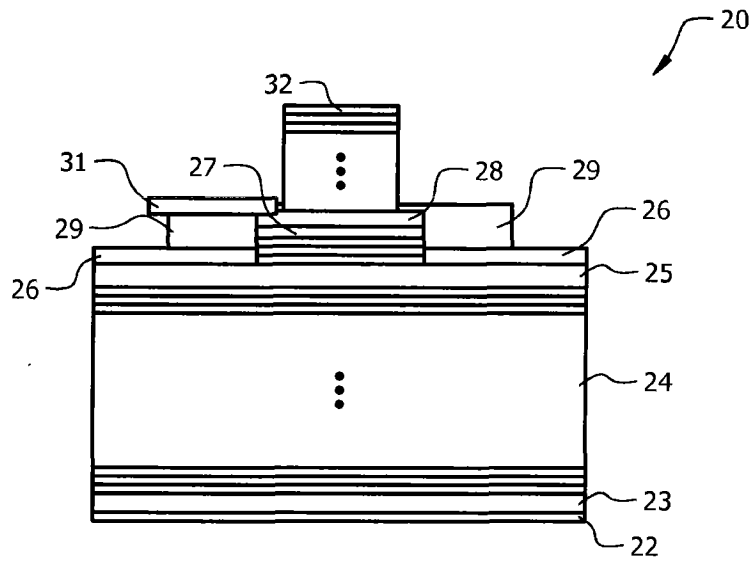


图 2A

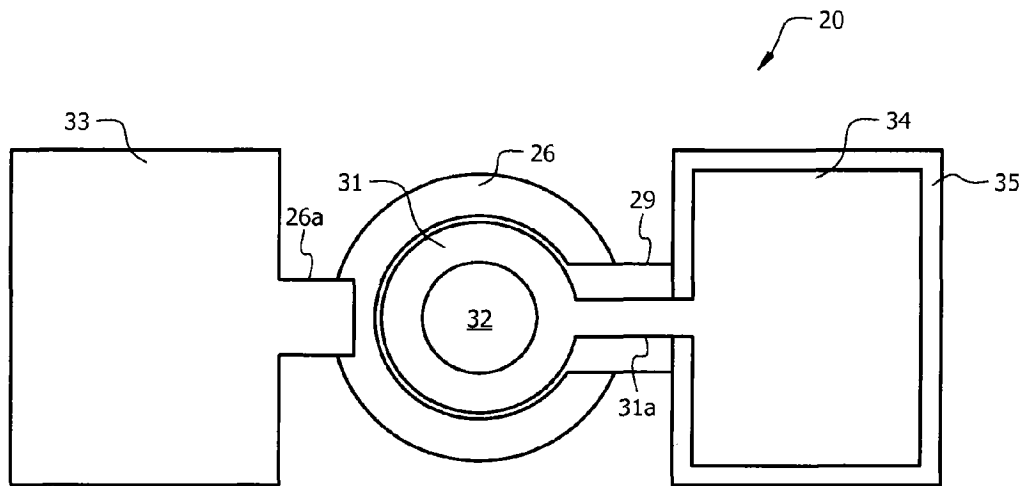


图 2B

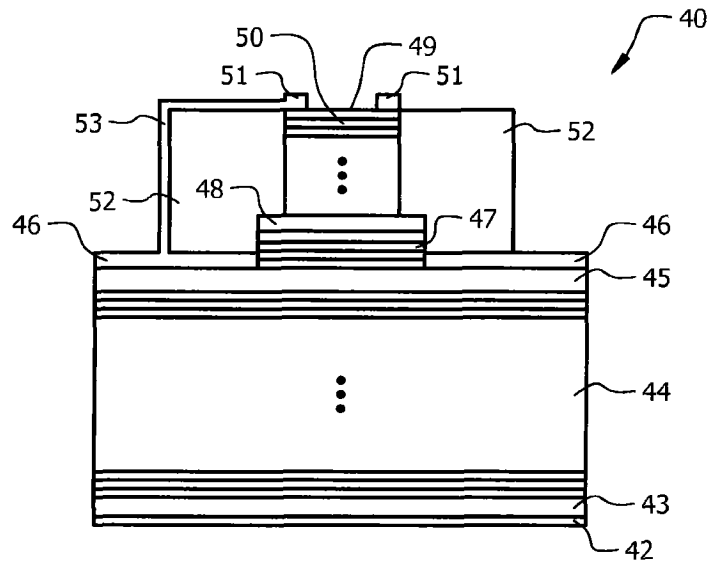


图 3A

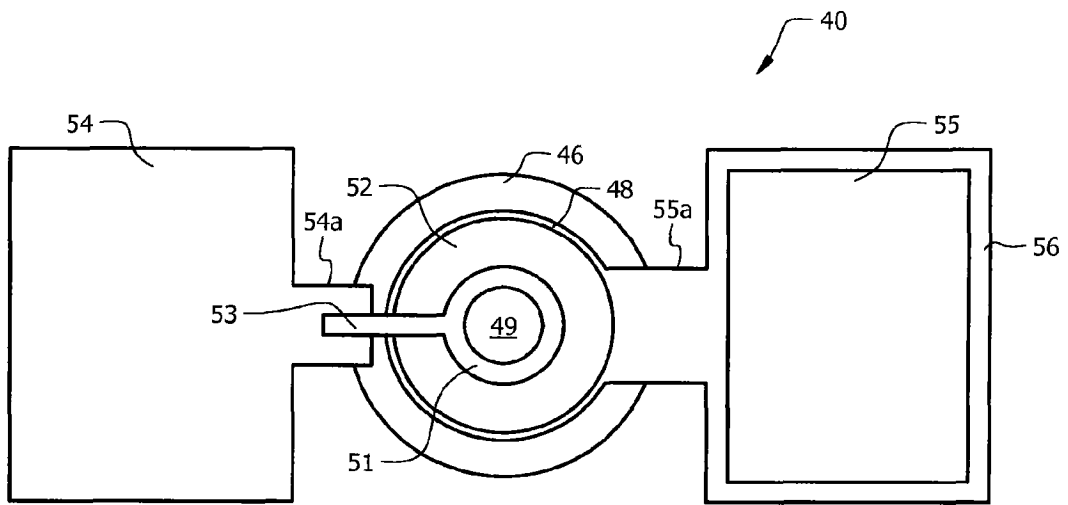


图 3B

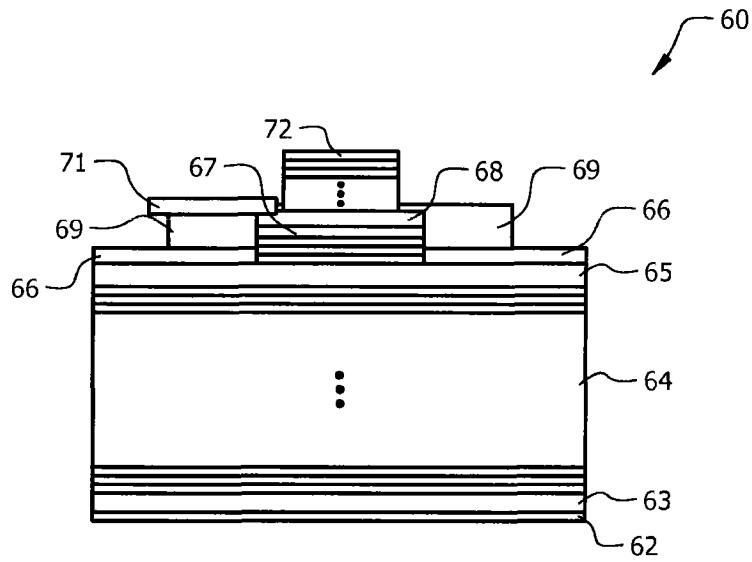


图 4A

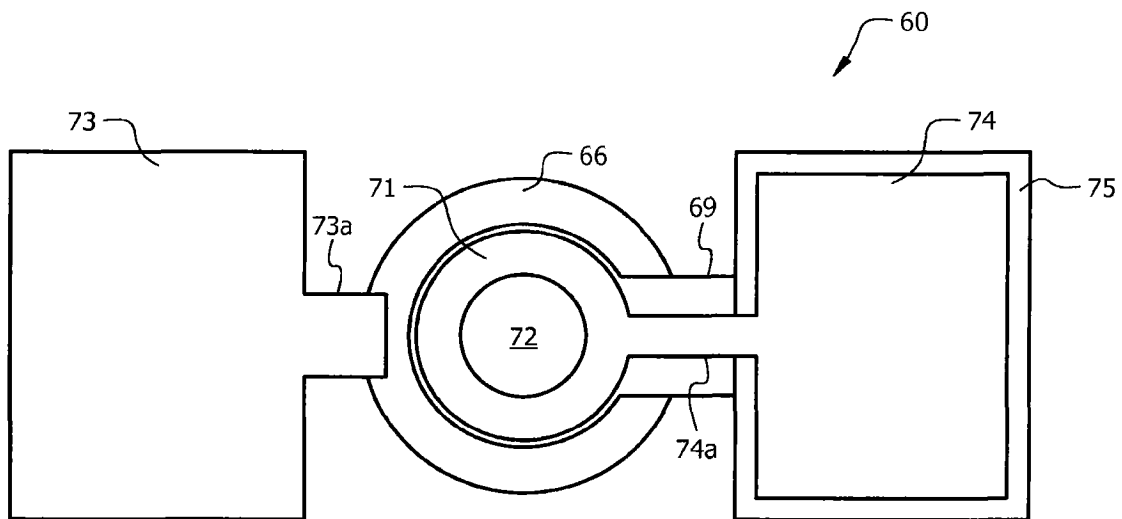


图 4B

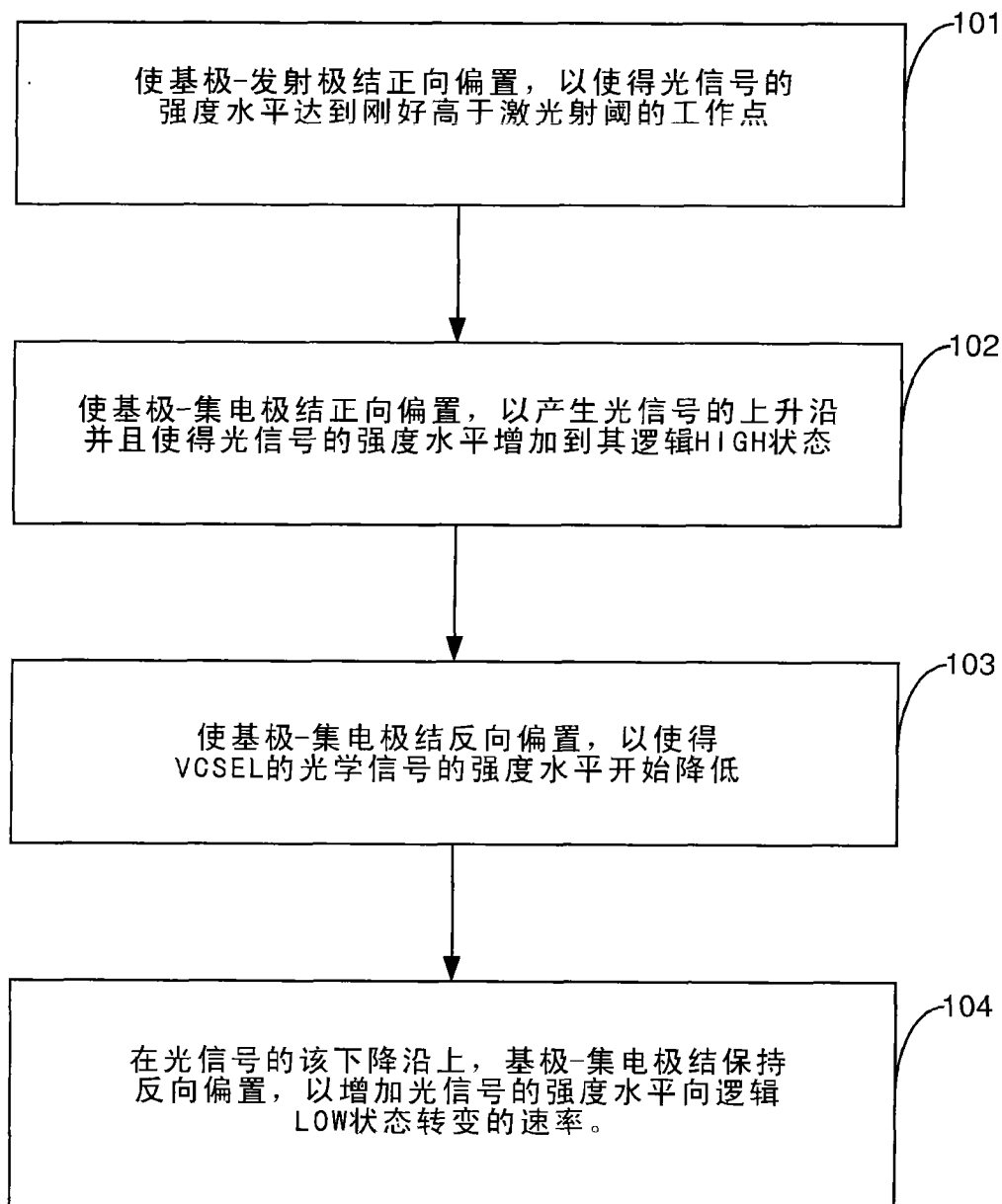


图 5